

## **A Utilização da Inteligência Artificial como Indutora de Práticas de Sustentabilidade em Cadeias de Suprimentos: Um Estudo do Estado da Arte da Produção Internacional**

**CRISTIANO BARREIRA DA PONTE**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

**SANDRA MARIA DOS SANTOS**

### **Introdução**

A preocupação com a sustentabilidade tem assumido relevância cada vez maior no dia a dia das empresas. No desenvolvimento da atividade econômica, as cadeias de suprimentos desempenham papel fundamental na formação da pegada ecológica, pois estão diretamente relacionadas ao consumo de recursos naturais escassos. Portanto, é necessário acelerar a adoção de práticas sustentáveis nas cadeias de suprimentos, a fim de evitar o agravamento dos problemas ambientais. Nesse contexto, a inteligência artificial pode atuar como aliada da sustentabilidade.

### **Problema de Pesquisa e Objetivo**

Questão de pesquisa: Qual o estado da arte da produção científica sobre a utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos? Objetivo geral: investigar o estado da arte da produção científica sobre a utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos. Objetivos específicos: 1) analisar evolução da produção científica; 2) identificar perfil de autoria dos estudos; 3) analisar situação de autoria em relação ao acoplamento bibliográfico; 4) investigar a análise de coocorrência

### **Fundamentação Teórica**

A integração de práticas de sustentabilidade nas cadeias de suprimentos (CS) tem ganhado atenção devido à necessidade de operações ambiental e socialmente responsáveis. O paradigma tradicional de produção, que partia do pressuposto de que os recursos naturais seriam inesgotáveis, foi sofrendo modificações, diante da constatação de que a natureza não seria capaz de acompanhar a demanda crescente por insumos extraídos do meio ambiente (Srivastava, 2007). O futuro da sustentabilidade nas CS é promissor através da convergência de avanços tecnológicos e estratégias de negócios (Sarkis et al., 2019)

### **Metodologia**

A pesquisa, quanto à sua natureza, é classificada como quantitativa. Quanto aos meios, foi realizada pesquisa documental dos periódicos publicados no período de 2021 a 2023. Já no que concerne aos fins, trata-se de uma pesquisa exploratória e descritiva. O estudo fez uso de dados secundários, obtidos em 204 artigos extraídos da base de dados Web of Science. Para a realização do estudo foi utilizada a técnica bibliométrica, que tem como finalidade medir os índices de produção e disseminação do conhecimento científico.

### **Análise dos Resultados**

A partir da análise bibliométrica realizada, é possível constatar um interesse crescente sobre a temática do uso de IA na promoção da sustentabilidade em CS, indicando a importância da utilização de tecnologias disruptivas para a modernização das operações nas empresas, possibilitando conciliar maior eficiência e lucratividade com uma atuação ambientalmente mais responsável.

### **Conclusão**

A presente pesquisa apresenta como contribuição uma análise das publicações acerca da utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos, destacando os eixos temáticos associados, bem como os impactos e desafios enfrentados. Cabe destacar a relevância e a contemporaneidade da questão estudada. Dotar as cadeias de suprimentos de práticas sustentáveis vai ao encontro da necessidade vital de preservação do meio ambiente e dos recursos naturais.

### **Referências Bibliográficas**

Bag, S., Wood, L. C., Mangla, S. K., & Luthra, S. (2020), Procurement 4.0 and its implications on business process performance in a circular economy, *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104502. Rege, A. (2023). The Impact of Artificial Intelligence on the Supply Chain in the Era of Data Analytics. *International Journal of Computer Trends and Technology*, 71(1), 28-39. Srivastava, S. K. (2007, March). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80.

### **Palavras Chave**

Cadeia de suprimentos, Sustentabilidade, Inteligência artificial

# **A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COMO INDUTORA DE PRÁTICAS DE SUSTENTABILIDADE EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS: UM ESTUDO DO ESTADO DA ARTE DA PRODUÇÃO INTERNACIONAL**

## **Resumo**

A preocupação com a sustentabilidade tem assumido relevância cada vez maior no dia a dia das empresas. No desenvolvimento da atividade econômica, especialmente na indústria, as cadeias de suprimentos desempenham um papel fundamental na formação da pegada ecológica, pois estão diretamente relacionadas ao consumo de recursos naturais escassos. Portanto, é necessário acelerar a adoção de práticas sustentáveis nas cadeias de suprimentos, a fim de evitar um agravamento dos problemas ambientais já existentes. Nesse contexto, a inteligência artificial pode atuar como aliada da sustentabilidade, possibilitando melhor previsão de demanda, racionalização de estoques, otimização de rotas de transporte e maior eficiência energética. O presente artigo tem como objetivo investigar a produção científica sobre a utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos, sistematizando o conhecimento sobre o tema. O estudo tem inspiração bibliométrica e foi realizado por meio de consulta aos periódicos indexados na base de dados Web of Science no período de janeiro/2021 a agosto/2023. Constatou-se um interesse crescente sobre a temática, indicando a importância da utilização de tecnologias disruptivas, baseadas em inteligência artificial, para a modernização das cadeias de suprimentos, possibilitando conciliar maior eficiência e lucratividade com uma atuação ambientalmente mais responsável.

**Palavras-chave: Cadeia de suprimentos. Sustentabilidade. Inteligência artificial.**

## **Abstract**

Concern about sustainability has become increasingly important in the day-to-day lives of companies. In the development of economic activity, especially in industry, supply chains play a fundamental role in the formation of the ecological footprint, as they are directly related to the consumption of scarce natural resources. Therefore, it is necessary to accelerate the adoption of sustainable practices in supply chains, in order to avoid worsening existing environmental problems. In this context, artificial intelligence can act as an ally of sustainability, incorporating resources that allow for better demand forecasting, inventory rationalization, optimization of transport routes and greater energy efficiency. This article aims to investigate scientific production on the use of artificial intelligence as an inducer of sustainability practices in supply chains, systematizing knowledge on the topic. The study has bibliometric inspiration and was carried out by consulting journals indexed in the Web of Science database from January/2021 to August/2023. There is a growing interest in the topic, imposing the importance of using disruptive technologies, based on artificial intelligence, for the modernization of supply chains, making it possible to reconcile greater efficiency and profitability with more environmentally responsible action.

**Keywords: Supply chain. Sustainability. Artificial Intelligence.**

## **1 INTRODUÇÃO**

Em um período marcado por desafios ambientais sem precedentes, o tema da sustentabilidade ocupou o centro do discurso global. Com preocupações crescentes sobre mudanças climáticas, esgotamento de recursos e degradação ecológica, há uma necessidade urgente de reavaliar as práticas empresariais tradicionais e adotar abordagens inovadoras para mitigar o impacto das cadeias de suprimentos (CS) no meio ambiente. Govindan *et al.* (2016) ressaltam que os *stakeholders* estão levando as organizações a implementarem medidas relacionadas à sustentabilidade em suas operações internas e cadeias de suprimentos. Bag *et al.* (2020) reforçam que CS sustentáveis apresentam uma importância significativa para equilibrar as relações sociais, econômicas e de desempenho ambiental.

Como as cadeias de suprimentos desempenham um papel fundamental na formação da pegada ecológica das empresas, alavancar a inteligência artificial (IA) como um mecanismo para impulsionar ações de sustentabilidade ganhou força significativa. Toorajipour *et al.* (2021) destacam que a IA tem o potencial transformador de melhorar os diversos processos relacionados à gestão da cadeia de suprimentos, criando novas oportunidades de adoção de práticas sustentáveis pelas organizações.

A capacidade das tecnologias de IA, como aprendizado de máquina (*learning machine*) e análise de dados, de processar grandes quantidades de dados complexos facilita o monitoramento, avaliação e otimização dos processos da cadeia de suprimentos (Younis & Alsharairi, 2021). Essas tecnologias permitem modelagem preditiva, identificando áreas de ineficiência, desperdício e consumo excessivo de recursos. Os insights orientados por IA podem dar suporte à tomada de decisões para minimizar o impacto ambiental, otimizar rotas de transporte, reduzir o consumo de energia e aprimorar as estratégias de gerenciamento de resíduos (Tariq, 2023).

Sharma *et al.* (2020) afirmam que tecnologias disruptivas de informação e comunicação, como a inteligência artificial, podem contribuir para a solução de vários problemas do meio ambiente, como conservação da água, garantia da saúde do solo e das plantas e melhoria da gestão ambiental. No mesmo sentido, Santoso *et al.* (2021) sustentam que as tecnologias "inteligentes" emergentes podem mudar as práticas de gerenciamento de produção, além de fornecer insights analíticos em tempo real para auxiliar os processos proativos de tomada de decisão baseados em dados.

A crescente preocupação com a preservação ambiental exige uma mudança de paradigma na gestão da cadeia de suprimentos. Nesse contexto, a IA surge como uma ferramenta potente para acelerar as ações de sustentabilidade, pois capacita as empresas a aprimorarem suas operações, reduzindo sua pegada de carbono e contribuindo para uma economia global mais resiliente e ecologicamente consciente.

O mapeamento das possíveis utilizações de técnicas de inteligência artificial na promoção de ações de sustentabilidade nas cadeias de suprimentos pode contribuir de forma significativa para a identificação de oportunidades para acelerar a implementação de projetos e iniciativas de IA com foco na sustentabilidade das empresas, especialmente naqueles envolvidas em atividades econômicas potencialmente poluidoras do meio ambiente.

Tendo em vista a relevância do tema e a necessidade de sistematização do conhecimento sobre o assunto, este trabalho tem por propósito, a partir de um estudo de inspiração bibliométrica, contribuir para o levantamento dos artigos publicados acerca da utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos, resumindo e articulando essa produção científica para compreensão e pesquisas futuras.

Naz *et al.* (2022) publicaram estudo bibliométrico com o intuito de explorar o papel da IA no estabelecimento de uma CS sustentável. O artigo se concentrou na

produção científica disponível na base Scopus e considerou artigos publicados somente até meados de 2021. Considerando a rápida evolução que a inteligência artificial tem apresentado nos últimos anos, com o surgimento de grande quantidade de novas ferramentas e técnicas, a proposta deste trabalho é complementar o trabalho acima citado, investigando artigos publicados entre os anos de 2021 e 2023, a fim de identificar novas tendências no estudo sobre o tema.

Dessa forma, a questão de pesquisa que se apresenta é qual o estado da arte da produção científica sobre a utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos? Para responder o referido problema de pesquisa, este trabalho tem como objetivo geral investigar o estado da arte da produção científica sobre a utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos. Os objetivos específicos do estudo são: 1) analisar a evolução da produção científica; 2) identificar o perfil de autoria dos estudos; 3) analisar a situação de autoria em relação ao acoplamento bibliográfico; 4) investigar a análise de coocorrência.

No que diz respeito aos aspectos metodológicos, a pesquisa tem inspiração bibliométrica e natureza quantitativa. O estudo tem caráter exploratório e descritivo, realizado por meio de pesquisa documental na base de dados *Web of Science*, buscando artigos publicados entre 2021 e 2023 relacionados aos termos de interesse “*supply chain*”, “*sustainab\**” e “*artificial intelligence*”.

Além deste tópico introdutório, o artigo apresenta mais quatro seções: a seção de revisão da literatura analisa a questão da sustentabilidade em cadeias de suprimentos e a utilização da inteligência artificial nessas CS, com foco na sustentabilidade. A terceira seção se dedica a abordar os aspectos metodológicos do estudo. Os resultados obtidos são apresentados e analisados na quarta seção. Por fim, a última seção contém as conclusões do trabalho, suas limitações e sugestões para futuras pesquisas.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Sustentabilidade em Cadeias de Suprimentos**

A integração de práticas de sustentabilidade nas cadeias de suprimentos tem ganhado atenção considerável devido à necessidade urgente de operações de negócios ambiental e socialmente responsáveis. O paradigma tradicional de produção, que partia do pressuposto de que os recursos naturais seriam inesgotáveis, foi sofrendo modificações ao longo do tempo, diante da constatação de que a natureza não seria capaz de acompanhar a demanda crescente por insumos extraídos do meio ambiente. Assim, a jornada rumo a cadeias de abastecimento sustentáveis remonta ao reconhecimento dos impactos ambientais causados pelo processo de industrialização (Srivastava, 2007).

Os primeiros esforços centraram-se na minimização do desperdício e na otimização da utilização de recursos. Com o tempo, as preocupações expandiram-se para abranger o fornecimento ético, os direitos laborais e o envolvimento das partes interessadas (Carter & Rogers, 2008). O final do século 20 testemunhou uma mudança da conformidade ambiental reativa para iniciativas de sustentabilidade de caráter proativo, impulsionadas por fatores como o aumento das demandas dos consumidores por produtos ecologicamente corretos (Seuring & Müller, 2008). Essa evolução culminou na integração de considerações sociais, ambientais e econômicas nas estratégias da cadeia de suprimentos (Srivastava, 2007).

Embora seja inegável o progresso ocorrido, os desafios permanecem significativos. Ansari e Kant (2017) indicam os principais obstáculos à concretização da gestão sustentável da CS: falta de informação e transparência; falta de treinamento e experiência; competências falhas de fornecedores; implicações de custos; ausência de compromisso da alta gerência; recursos financeiros insuficientes; dificuldades para reduzir o consumo de recursos e energia; inadequação na adoção de práticas logísticas reversas; e falta de implementação de tecnologias de informação.

A colaboração eficaz entre diversas partes interessadas, incluindo fornecedores, governos e ONGs, também apresenta complexidades (Gold *et al.*, 2010). Além disso, a globalização das CS apresenta obstáculos em termos de práticas de monitoramento e garantia de adesão aos padrões de sustentabilidade (Linton *et al.*, 2007). Equilibrar práticas sustentáveis com lucratividade, especialmente para empresas menores, continua sendo uma preocupação persistente. Além disso, a falta de métricas padronizadas para medir a sustentabilidade dificulta uma avaliação precisa e comparações por meio de benchmarking (Walker *et al.*, 2008).

O futuro da sustentabilidade nas CS é promissor através da convergência de avanços tecnológicos e estratégias de negócios. Ferramentas de IA podem revolucionar as operações. Essas ferramentas permitem análises preditivas, otimizando a alocação de recursos e identificando ineficiências. O monitoramento em tempo real facilitado pela IA pode aumentar a transparência e a rastreabilidade, alinhando-se com a crescente ênfase no fornecimento responsável (Sarkis *et al.*, 2019). A tecnologia *Blockchain*, que possibilita a criação de um sistema descentralizado e confiável para armazenar e trocar informações, garante ainda mais a autenticidade das alegações de sustentabilidade e promove a confiança entre as partes interessadas (Zhu *et al.*, 2020).

## 2.2 Uso da Inteligência artificial em cadeias de suprimentos

A Inteligência Artificial (IA) emergiu como uma força transformadora no campo da gestão da CS, remodelando a forma como as empresas planejam, executam e sustentam as suas operações e representando uma mudança profunda na gestão de recursos e logística. Tal transformação começou no final do século 20 com sistemas rudimentares de controle de estoque e desde então evoluiu exponencialmente devido aos avanços na capacidade de processamento dos computadores, no aprendizado de máquina e na análise de *big data*.

As principais aplicações da IA em cadeias de suprimentos (Subramanian, 2021; Rege, 2023) estão relacionadas às seguintes temáticas:

- a) Previsão de demanda: Algoritmos baseados em IA analisam dados históricos, tendências de mercado e fatores externos para fornecer previsões de demanda precisas, reduzindo a superprodução e o desperdício.
- b) Racionalização de estoques: a IA monitora continuamente os níveis de estoque, aciona o reabastecimento automático e recomenda estratégias de estoque ideais, minimizando o excesso de estoque e a pegada de carbono associada.
- c) Otimização de rotas: a IA otimiza as rotas de transporte, reduzindo o consumo de combustível, as emissões e o tempo de entrega.
- d) Gestão de fornecedores: A IA avalia o desempenho dos fornecedores em tempo real, considerando métricas de sustentabilidade, ética e confiabilidade.
- e) Eficiência energética: Os sistemas alimentados por IA melhoram a gestão de energia nas instalações da cadeia de abastecimento, levando à poupança de custos e à redução do impacto ambiental.

Pesquisas recentes enfatizam os benefícios da integração da IA nas CS. As empresas que adotam a IA relataram maior eficiência, reduções significativas no desperdício e uma abordagem mais sustentável às operações. Anderson e White (2020) descobriram que a previsão de ressuprimento baseada em IA reduziu o excesso de estoques em 20%, levando à diminuição dos resíduos e das emissões de carbono. Da mesma forma, a otimização de rotas impulsionada pela IA resultou em reduções notáveis no consumo de combustível, com algumas empresas chegando a alcançar uma redução de até 15% nas emissões de gases com efeito de estufa (Smith & Davis, 2021).

À medida que as tecnologias de IA continuam a avançar, existem oportunidades para um impacto ainda maior. Análise de dados em tempo real, tomada de decisões autônoma na cadeia de suprimentos e maior visibilidade da cadeia de suprimentos são algumas direções interessantes. O papel da IA na sustentabilidade tornar-se-á cada vez mais crucial à medida que as empresas procuram cumprir objetivos ambientais e éticos.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa, quanto à sua natureza, é classificada como quantitativa, tendo por objetivo mensurar ou quantificar um determinado fenômeno, no caso a utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos (CASARIN; CASARIN, 2012). Quanto aos meios, foi realizada pesquisa documental dos periódicos publicados no período de 2021 a 2023, obtidos mediante consulta à base de dados *Web of Science*. Já no que concerne aos fins, trata-se de uma pesquisa exploratória, possibilitando um melhor entendimento sobre um fenômeno; e descritiva, buscando descrever as características de um determinado objeto de estudo (GIL, 2008).

A população do estudo compreende os artigos científicos publicados na base de dados *Web of Science*. A amostra é composta por artigos selecionados na referida base de dados, os quais versam sobre o tema da utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos, conforme filtros e termos de busca abaixo detalhados.

O estudo fez uso de dados secundários, obtidos em 204 artigos extraídos da base de dados *Web of Science*. Como filtros de pesquisa, foram utilizados os termos “*supply chain*” AND “*sustainab\**” AND “*artificial intelligence*” nos campos título, resumo e palavras-chave. No que diz respeito ao período estudado, foram selecionadas publicações realizadas no intervalo entre janeiro/2021 e agosto/2023.

Para a realização do estudo foi utilizada a técnica bibliométrica, que tem como finalidade medir os índices de produção e disseminação do conhecimento científico. A bibliometria explora a forma como o conhecimento flui entre os pares no meio acadêmico, seu processo de produção e disseminação. Estuda a produtividade dos atores do ambiente científico, a partir da análise das fontes bibliográficas, identificando relações, padrões de organização, pontos críticos, tendências e contrapontos. Permite o mapeamento de referências e evidências que diem respeito ao fenômeno investigado, a comparação da produção científica entre áreas afins, a sistematização do conhecimento científico produzido acerca de um determinado assunto, além de apontar futuros caminhos de pesquisa (ZUPIC; CATER, 2014; VASCONCELOS, 2014).

Para a apuração dos indicadores bibliométricos relacionados às características dos trabalhos publicados, foi utilizado o software HistCite. O software VOSviewer foi utilizado para a análise de acoplamento bibliográfico e coocorrência, a fim de estabelecer as relações entre autores, citações e palavras-chave. Para análise dos dados foi utilizada estatística descritiva.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados do presente trabalho, expostos a seguir, estão alinhados com os objetivos especificados para análise: 1) analisar a evolução da produção científica; 2) identificar o perfil de autoria dos estudos sobre o tema; 3) analisar a situação de autoria em relação ao acoplamento bibliográfico; 4) investigar a análise de coocorrência.

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos resultados do levantamento bibliométrico realizado na base de dados *Web of Science*<sup>TM</sup>.

Tabela 1

### Síntese dos resultados do levantamento bibliométrico (2021-2023)

Dados Bibliométricos	Quantidade
Publicações (artigos)	204
Periódicos indexados	106
Autores	730
Instituições (vínculos dos autores)	479
Países	66
Referências citadas	20409

Os resultados apresentados abrangem 204 trabalhos sobre a temática do uso da inteligência artificial pelas organizações para incorporar ações de sustentabilidade em suas cadeias de suprimentos. Os artigos foram publicados entre janeiro/2021 e agosto/2023, em 106 periódicos, por um total de 730 autores, os quais estão vinculados a 479 instituições situadas em 66 países. Os estudos citaram 20.409 referências.

Importante ressaltar que os estudos abordam a aplicação da IA em CS com impacto na sustentabilidade em variados ramos de atividade econômica, sendo os mais prevalentes a agricultura, indústria, comércio, energia, serviços de saúde, finanças e transportes, conforme evidenciado na Tabela 2.

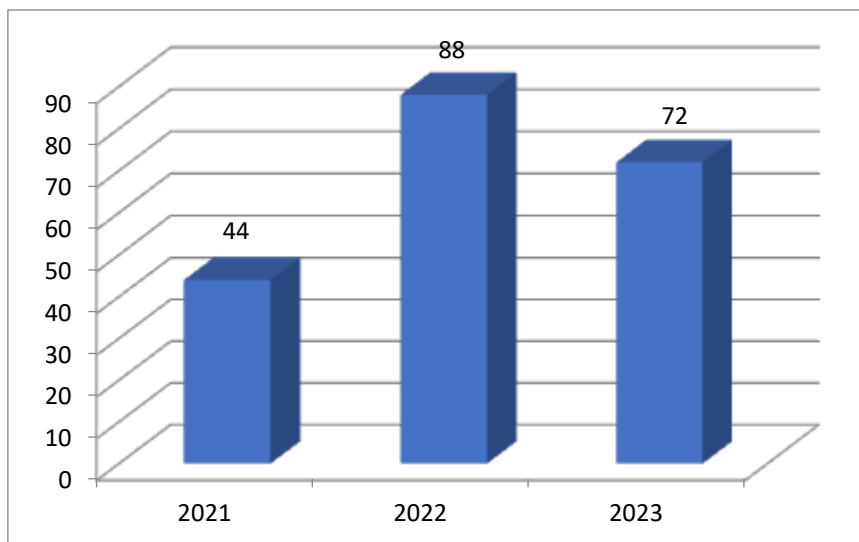
Tabela 2

### Ramos de atividade econômica abordados nos artigos

Ramo de atividade	Quantidade
Agricultura	37
Indústria	28
Comércio	10
Energia	10
Saúde	7
Finanças	5
Transportes	5

#### 4.1 Evolução da produção científica

A Figura 1 destaca a frequência anual das publicações ao longo do período analisado.



**Figura 1.** Distribuição anual de frequência de publicações (2021-2023).

A pesquisa científica sobre o tema tem apresentado expressiva elevação da quantidade de artigos publicados. Em 2022 houve crescimento de 100% em relação ao ano anterior. Para o ano de 2023, foi considerado somente o período compreendido entre os meses de janeiro e agosto, portanto a projeção é de que o número de artigos publicados seja ainda superior ao de 2022. Essa tendência de crescimento no estudo do tema está compatível com os achados do artigo de Naz *et al.* (2022), em que foram avaliadas as publicações ocorridas entre os anos de 2002 e 2021.

#### 4.2 Perfil de autoria

Conforme pode ser visualizado na Tabela 3, os autores com maior produtividade na área de interesse deste estudo são aqueles que possuem entre 5 e 11 artigos publicados.

Tabela 3

#### **Autores com maior número de publicações (2021-2023)**

Autores	Artigos	Qtde. Citações	Afiliação (Instituição de vínculo)	País
KUMAR, A.	11	195	London Metropolitan University	Reino Unido
GUPTA, S.	7	267	NEOMA Business School	França
LUTHRA, S.	6	66	All India Council for Technical Education	Índia
AGRAWAL, R.	5	159	National Institute of Technology, Trichy	Índia
GUNASEKARAN, A.	5	56	Pennsylvania State University	Estados Unidos

Kumar tem direcionado suas pesquisas para o estudo do uso de técnicas de inteligência artificial para aprimorar a resiliência e a sustentabilidade em cadeias de suprimentos. Gupta, por sua vez, tem focado seus estudos para a utilização de ferramentas de *big data* e sistemas de suporte à decisão, impulsionados por recursos de inteligência artificial, para o desenvolvimento de práticas sustentáveis de produção e incremento da economia circular.



Luthra e Agrawal desenvolveram conjuntamente estudos explicando como os recentes avanços tecnológicos baseados na IA tornam possível superar muitos dos problemas associados às cadeias de suprimentos, especialmente no que diz respeito às questões de sustentabilidade. Já Gunaserakan elaborou estudo sobre métodos de desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis e inteligentes, baseados em IA, para obter qualidade robusta, redução de tempo e produtos personalizados.

A Tabela 4 relaciona os artigos mais citados sobre o uso da IA pelas organizações para incorporar ações de sustentabilidade em suas cadeias de suprimentos.

Tabela 4  
**Artigos mais citados (2021-2023)**

<b>Autores/ano</b>	<b>Título</b>	<b>Periódico</b>	<b>Citações</b>
Bag, S.; Pretorius, J.H.C.; Gupta, S.; Dwivedi, Y.K. (2021)	Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities	Technological Forecasting and Social Change	202
Tseng, M.L.; Tran, T.P.T.; Ha, H.M.; Bui, T.D.; Lim, M.K. (2021)	Sustainable industrial and operation engineering trends and challenges Toward Industry 4.0: a data driven analysis	Journal of Industria and Production Engineering	134
Moosavi, J.; Fathollahi-Fard, A.M. Dulebenets, M.A. (2022)	Supply chain disruption during the COVID-19 pandemic: Recognizing potential disruption management strategies	International Journal of Disaster Risk Reduction	83

Bag *et al.* (2021) publicaram o artigo mais citado acerca da temática estudada, intitulado “*Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities*”. O trabalho aborda o papel das pressões institucionais na adoção de inteligência artificial alimentada pela análise de big data e como isso afeta a produção sustentável e a economia circular.

Tseng *et al.* (2021) analisaram a engenharia industrial e de operações sustentável no contexto da Indústria 4.0. O trabalho avaliou um total de 30 indicadores, que foram criticados e categorizados em oito grupos de estudo: manufatura enxuta, sistema de produção ciber-físico, comunicações inteligentes e baseadas em big data, segurança e proteção, inteligência artificial para sustentabilidade, economia circular em ambiente digital, *business intelligence*/realidade virtual e sustentabilidade ambiental.

O artigo de Moosavi *et al.* (2022) revelou, a partir da análise dos problemas decorrentes da pandemia do COVID-19, que resiliência e sustentabilidade são os temas de estudo mais relevantes na atualidade no que diz respeito às cadeias de suprimentos. Nesse contexto, ferramentas auxiliadas por tecnologias, tais como inteligência artificial (IA), internet das coisas (IoT) e *blockchains*, são as principais estratégias utilizadas para proporcionar a estruturação de cadeias de suprimentos resilientes e sustentáveis.

Os periódicos com maior frequência de publicação sobre o tema, conforme detalhado na Tabela 5, abordam assuntos relacionados à sustentabilidade, meio ambiente, engenharia de produção e pesquisa operacional. A maioria deles é classificada no estrato A1 da Qualis CAPES. Cabe mencionar que os periódicos

“Sustainability”, “International Journal of Production Research” e “Journal of Cleaner Production” também constavam da lista elaborada por Naz *et al.* (2022) de revistas que mais publicam sobre a temática de IA e cadeias de suprimentos sustentáveis.

Tabela 5  
**Periódicos com mais artigos publicados (2021-2023)**

Periódicos	Qualis	Quantidade de Artigos	Citações	Citações/ Artigo
Sustainability	A2	34	290	8,53
Annals of Operations Research	A2	7	157	22,43
Business Strategy and the Environment	A1	7	102	14,57
International Journal of Production Research	A1	7	126	18,00
Journal of Cleaner Production	A1	7	73	10,43

Conforme pode ser visualizado na Tabela 6, as instituições com maior número de artigos publicados estão situadas no Reino Unido, França, Índia e África do Sul.

Tabela 6  
**Quantidade de artigos por instituições de vínculo dos autores (2021-2023)**

Instituição	País	Quantidade Artigos
London Metropolitan University	Reino Unido	7
NEOMA Business School	França	6
Ch Ranbir Singh State Inst. Engn. & Technology	Índia	4
EMLYON Business School	França	4
Newcastle University	Reino Unido	4
Univ Johannesburg	África do Sul	4

A Tabela 7 nos mostra a quantidade de artigos por país de origem das instituições de vínculo dos autores. Os autores possuem vínculo principalmente com instituições localizadas na Índia, Reino Unido, Estados Unidos, China e França. O Brasil está na 13ª colocação no ranking, com apenas 7 artigos publicados sobre o tema.

Tabela 7  
**Quantidade de artigos por país de origem das instituições de vínculo dos autores (2021-2023)**

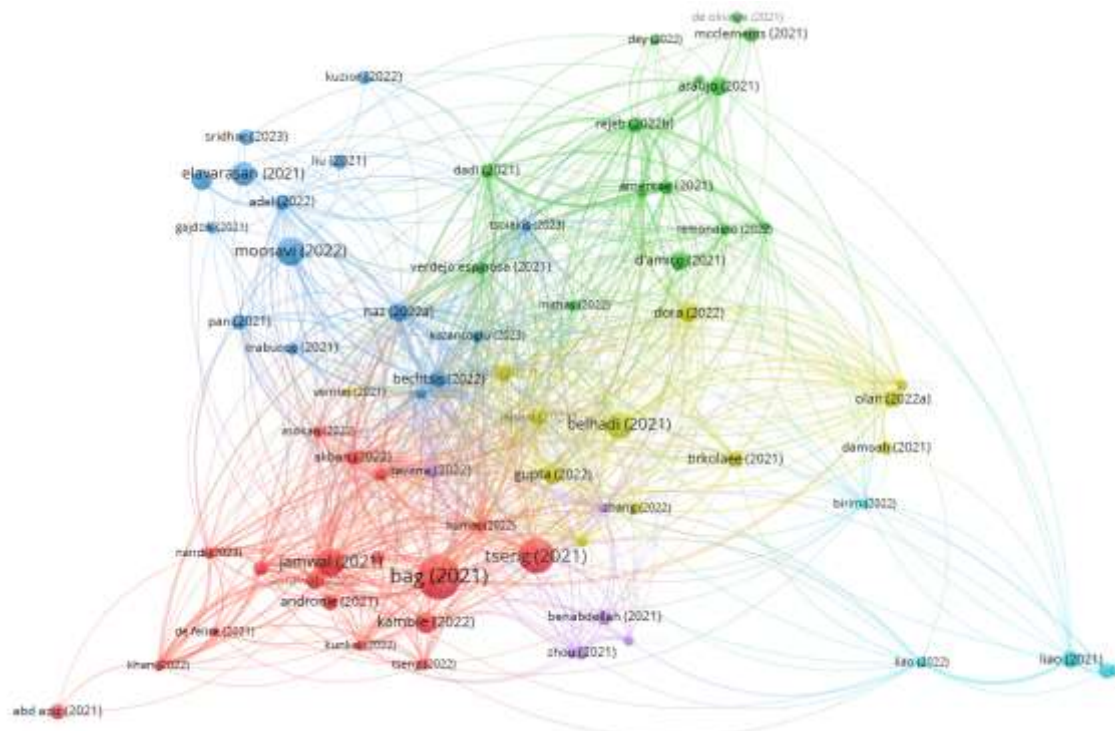
Colocação	País	Quantidade Artigos	Citações
1º	Índia	48	644
2º	Reino Unido	44	788
3º	Estados Unidos	34	517
4º	China	26	302
5º	França	24	512
13º	Brasil	7	38

### 4.3 Acoplamento bibliográfico

O acoplamento bibliográfico utiliza o número de referências compartilhadas por dois documentos como medida para avaliar a semelhança entre eles. Quanto mais as

bibliografias de dois artigos se sobrepõem, mais forte será a conexão entre os artigos. O número de referências compartilhadas entre dois documentos é estático ao longo do tempo, tendo em vista que o número de referências dentro do artigo permanece inalterado. Recomenda-se analisar publicações realizadas aproximadamente no mesmo período de tempo (ZUPIC; CATER, 2014).

Segundo Zupic e Cater (2014), o acoplamento bibliográfico é a técnica bibliométrica mais indicada para mapear uma frente de pesquisa atual, como é o caso dos estudos acerca do uso da inteligência artificial pelas organizações para incorporar ações de sustentabilidade em suas cadeias de suprimentos.



**Figura 2.** Acoplamento bibliográfico entre autores.

A figura 2 mostra o diagrama de acoplamento bibliográfico obtido dos 204 artigos que fazem parte do presente estudo. Foram considerados apenas artigos com pelo menos 10 citações, o que resultou em 71 artigos selecionados. É possível perceber a formação de 6 clusters, significando áreas de pesquisa correlatas, representados pelas cores vermelho, verde, amarelo, azul turquesa, azul celeste e lilás.

O cluster mais relevante é o de cor vermelha, formado principalmente pelos trabalhos de Bag *et al.* (2021), Tseng *et al.* (2021) e Jamwal (2021), versando sobre aplicação de IA para sustentabilidade na Indústria 4.0. Outro cluster importante é o de cor azul, cujo principal expoente é o já comentado trabalho de Moosavi *et al.* (2022) sobre utilização de ferramentas de IA para aumentar a sustentabilidade e resiliência de cadeias de suprimentos.

#### 4.4 Coccorrência

A análise de coccorrência é uma técnica de análise de conteúdo que utiliza as palavras-chave contidas nos artigos para estabelecer relações e construir uma estrutura conceitual do domínio de conhecimento. A ideia subjacente ao método é que, quando as palavras coccorrem frequentemente em trabalhos publicados, isso significa que os

conceitos por trás dessas palavras estão intimamente relacionados. É o único dentre os métodos bibliométricos que usa o conteúdo real dos documentos para construir uma medida de similaridade, enquanto as demais conectam os documentos indiretamente por meio de citações ou coautorias (ZUPIC; CATER, 2014).

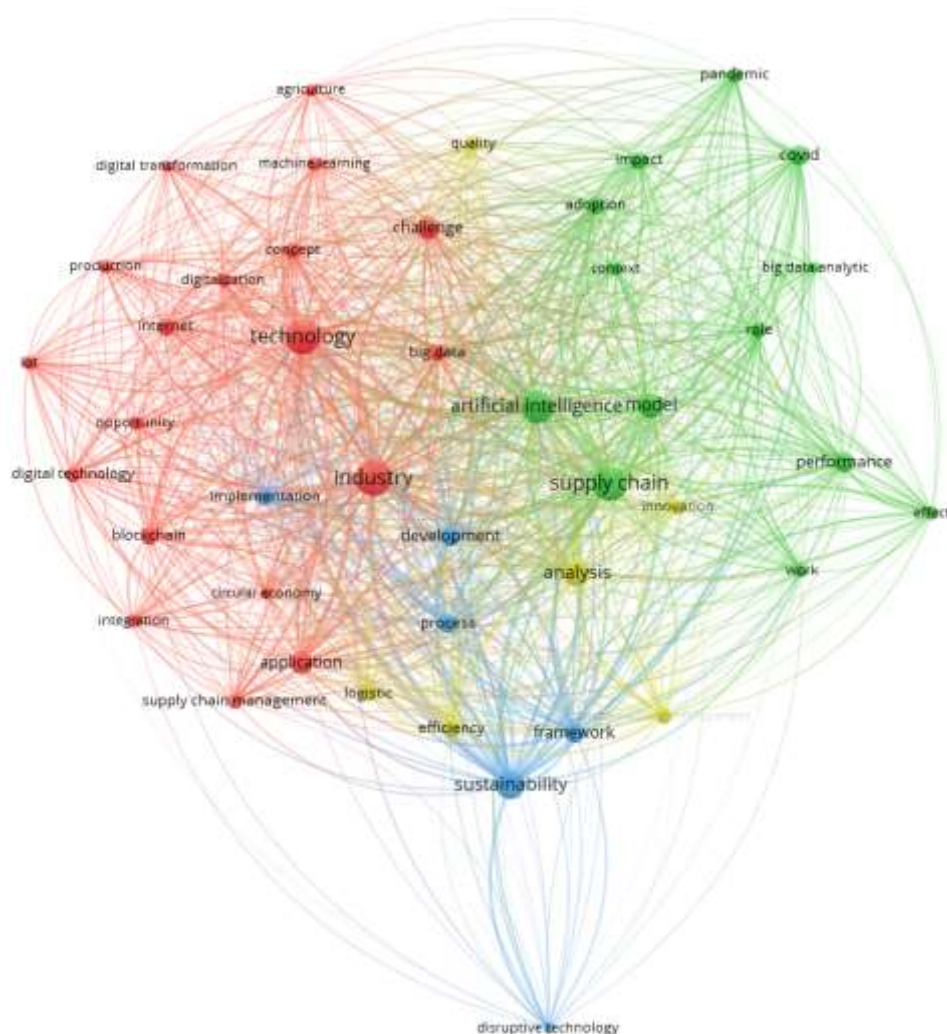


Figura 3. **Análise de coocorrência de palavras-chave.**

A Figura 3 apresenta o diagrama de coocorrência de palavras-chave dos 204 artigos analisados neste estudo. Dentre as 690 palavras-chave contidas na amostra, foram consideradas somente aquelas que apresentaram no mínimo 20 ocorrências, resultando na identificação de 44 palavras-chave, distribuídas em 4 clusters.

O cluster de cor vermelha compreende 19 palavras-chave, sendo as mais relevantes “indústria”, “tecnologia”, “desafios” e “aplicações”. Trata especialmente da aplicação de novas tecnologias, dentre as quais podemos destacar *machine learning*, *big data*, *blockchain* e IoT, no desenvolvimento da Indústria 4.0.

No cluster de cor verde, formado por 13 palavras, destaca-se o relacionamento entre a utilização da inteligência artificial e a tentativa de melhoria da performance da cadeia de suprimentos (“*supply chain*”), especialmente no contexto da pandemia do COVID-19, que impactou bastante o abastecimento das cadeias de suprimentos em todo o mundo, trazendo novas dificuldades e desafios.

Já o cluster azul, composto por 6 palavras-chave, está relacionado principalmente ao desenvolvimento e implementação de estratégias de sustentabilidade por meio de tecnologias disruptivas, as quais trazem modificações no processo produtivo das indústrias.

Por fim, o cluster amarelo, também formado por 6 termos, faz menção à inovação no contexto da busca pela eficiência logística, aprimorando os processos das cadeias de suprimentos.

A partir da análise bibliométrica realizada, é possível constatar um interesse crescente sobre a temática do uso de IA na promoção da sustentabilidade em CS, indicando a importância da utilização de tecnologias disruptivas para a modernização das operações nas empresas, possibilitando conciliar maior eficiência e lucratividade com uma atuação ambientalmente mais responsável.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo foi orientado pela questão de pesquisa: qual o estado da arte da produção científica sobre a utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos? Os resultados apresentados possibilitaram responder a essa indagação, atendendo assim ao objetivo geral da pesquisa de analisar e sistematizar, a partir de um levantamento de inspiração bibliométrica, as publicações sobre o tema nos periódicos internacionais.

O primeiro objetivo específico foi analisar a evolução da produção científica sobre a temática estudada. É possível perceber um interesse crescente sobre o assunto, especialmente diante da necessidade do desenvolvimento de cadeias de suprimentos sustentáveis.

Quanto ao segundo objetivo específico, identificar o perfil de autoria, os resultados apontaram que as pesquisas têm sido conduzidas em um grande número de países, em todos os continentes, com predomínio para Índia, Reino Unido, Estados Unidos, China e França. O número de publicações de instituições brasileiras em periódicos internacionais ainda é reduzido. Os periódicos com maior frequência de publicação sobre o tema abordam assuntos relacionados à sustentabilidade, meio ambiente, engenharia de produção e pesquisa operacional. Os artigos mais citados abordam assuntos como o uso de técnicas de inteligência artificial para aprimorar a resiliência e a sustentabilidade em cadeias de suprimentos; a utilização de ferramentas de *big data* e sistemas de suporte à decisão, impulsionados por recursos de IA, para o desenvolvimento de práticas sustentáveis de produção e incremento da economia circular; avanços tecnológicos baseados na IA; e métodos de desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis e inteligentes, baseados em IA, para obter qualidade robusta, redução de tempo e produtos personalizados.

No que se refere ao terceiro objetivo específico, analisar a situação de autoria em relação ao acoplamento bibliográfico, foi identificada a formação de seis clusters, significando áreas de pesquisa correlatas, sendo o mais relevante abordando a aplicação de IA para sustentabilidade na Indústria 4.0. Os autores mais destacados nessa temática são Bag *et al.* (2021), Tseng *et al.* (2021) e Jamwal (2021).

Já o quarto objetivo específico, investigar a análise de coocorrência, mostrou a formação de quatro clusters, apresentando temas correlatos à aplicação de novas tecnologias, dentre as quais podemos destacar *machine learning*, *big data*, *blockchain* e IoT, no desenvolvimento da Indústria 4.0; relacionamento entre a utilização da inteligência artificial e a tentativa de melhoria da performance da cadeia de suprimentos (“*supply chain*”), especialmente no contexto da pandemia do COVID-19;

desenvolvimento e implementação de estratégias de sustentabilidade por meio de tecnologias disruptivas e eficiência logística.

A presente pesquisa apresenta como contribuição uma análise das publicações acerca da utilização da inteligência artificial como indutora de práticas de sustentabilidade em cadeias de suprimentos, destacando os eixos temáticos associados, bem como os impactos e desafios enfrentados. Cabe destacar a relevância e a contemporaneidade da questão estudada. Dotar as cadeias de suprimentos de práticas sustentáveis vai ao encontro da necessidade vital de preservação do meio ambiente e dos recursos naturais. Nesse contexto a inteligência artificial surge como uma forte aliada para viabilizar essa transformação, trazendo novas técnicas capazes de transformar o processo produtivo.

O estudo apresenta como limitação o fato de analisar a produção científica indexada apenas em uma base de dados, a *Web of Science*. Recomenda-se estender essa pesquisa para outras bases, tais como Scopus, Medline, Lilacs e SciELO. Como proposta de estudos futuros, sugere-se a avaliação da efetividade das medidas já implantadas pelas organizações para aumentar a sustentabilidade de sua cadeia de suprimentos, a fim de identificar aquelas que alcançaram os resultados pretendidos.

## REFERÊNCIAS

Ansari, Z. N., & Kant, R. (2017). A state-of-art literature review reflecting 15 years of focus on sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2524–2543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.023>

Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., & Dwivedi, Y. K. (2021, February). Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120420. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120420>

Bag, S., Wood, L. C., Mangla, S. K., & Luthra, S. (2020), Procurement 4.0 and its implications on business process performance in a circular economy, *Resources, Conservation and Recycling*, 152, 104502. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104502>

Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 360–387. <https://doi.org/10.1108/09600030810882816>

Casarin, H. de C. S., Casarin, S. S. (2012) *Pesquisa científica: da teoria à prática*. Curitiba: Ed. Intersaberes.

Gil, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. (2008) São Paulo: Editora Atlas.

Gold, S., Seuring, S., & Beske, P. (2009). Sustainable supply chain management and inter-organizational resources: a literature review. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 17(4), 230-245. <https://doi.org/10.1002/csr.207>

Govindan, K., Seuring, S., Zhu, Q., & Azevedo, S. G. (2016). Accelerating the transition towards sustainability dynamics into supply chain relationship management and governance structures. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1813–1823. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.084>

- Linton, J. D., Klassen, R., & Jayaraman, V. (2007, January 17). Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of Operations Management*, 25(6), 1075–1082. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.012>
- Moosavi, J., Fathollahi-Fard, A. M., & Dulebenets, M. A. (2022, June). Supply chain disruption during the COVID-19 pandemic: Recognizing potential disruption management strategies. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75, 102983. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.102983>
- Naz, F., Agrawal, R., Kumar, A., Gunasekaran, A., Majumdar, A., & Luthra, S. (2022). Reviewing the applications of artificial intelligence in sustainable supply chains: Exploring research propositions for future directions. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2400–2423. <https://doi.org/10.1002/bse.3034>
- Rege, A. (2023). The Impact of Artificial Intelligence on the Supply Chain in the Era of Data Analytics. *International Journal of Computer Trends and Technology*, 71(1), 28–39. <https://doi.org/10.14445/22312803/IJCTT-V71I1P105>
- Santoso, I., Purnomo, M., Sulianto, A. A., & Choirun, A. (2021). Machine learning application for sustainable agri-food supply chain performance: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 924(1), 012059. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/924/1/012059>
- Seuring, S., & Müller, M. (2008, October). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>
- Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research*, 119, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104926>
- Srivastava, S. K. (2007, March). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x>
- Subramanian, L. (2021, February 28). Effective Demand Forecasting in Health Supply Chains: Emerging Trend, Enablers, and Blockers. *Logistics*, 5(1), 12. <https://doi.org/10.3390/logistics5010012>
- Tariq, M. U. (2023). Role of artificial intelligence in the enabling sustainable supply chain management during COVID-19. *International Journal of Services and Operations Management*, 44(1), 115. <https://doi.org/10.1504/ijson.2023.128938>
- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>
- Tseng, M. L., Tran, T. P. T., Ha, H. M., Bui, T. D., & Lim, M. K. (2021). Sustainable industrial and operation engineering trends and challenges Toward Industry 4.0: a data driven analysis. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38(8), 581–598. <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1950227>
- Vasconcelos, Y. (2014) Estudos Bibliométricos: Procedimentos Metodológicos e Contribuições. *Revista de Ciências Jurídicas*, 15 (2).

Walker, H., Di Sisto, L., & McBain, D. (2008, March). Drivers and barriers to environmental supply chain management practices: Lessons from the public and private sectors. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 14(1), 69–85.

<https://doi.org/10.1016/j.pursup.2008.01.007>

Younis, H., Sundarakani, B., & Alsharairi, M. (2021). Applications of artificial intelligence and machine learning within supply chains: systematic review and future research directions. *Journal of Modelling in Management*, 17(3), 916–940.

<https://doi.org/10.1108/jm2-12-2020-0322>

Zupic, I. & Cater, T. (2014) Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18 (3), 429–472.